

藤女子大学紀要, 第 48 号, 第 II 部: 77-84. 平成 23 年.
Bull. Fuji Women's University, No. 48, Ser. II: 77-84. 2011.

リン酸架橋でん粉のラットにおける脂質代謝改善作用

福田 絵里 山本 和夫 福島 道広

西村 直道 知地 英征

Abstract

We investigated the effect of raw distarch potato starch (DPS) on lipid metabolism in rats. Rats were fed a 60% sucrose diet (control) and or one of 3 test diets containing 100 g/kg of DPS, native potato starch (NPS) or alkali-treated starch (ATS). DPS, NPS, and ATS contain 837 ppm, 818 ppm, and 818 ppm of phosphorous, respectively. There were no differences in final body weight among the rats fed the control, NPS, ATS, and DPS diets for 4 weeks. Rats fed the DPS diet had significantly smaller epididymal and perirenal fat pads than did the control rats ($P < 0.05$). We also found that rats fed the DPS and NPS diets had significantly lower plasma triglyceride levels than did the control rats. Lower hepatic triglyceride concentrations were also seen in the DPS- and ATS-fed rats (-47 and -50% , respectively) compared to the controls. From these results, DPS, NPS and ATS can be seen to affect lipid metabolism in rats, with the greatest effect seen in the DPS group. The digestion of distarch phosphate of potato origin in the small intestine is suggested to have a large effect on the above mechanism.

1. はじめに

天然でん粉 (native starch) に対し、でん粉に物理的および化学的処理を行い異なる性質を付与したでん粉を加工でん粉 (modified starch) といい、レトルト食品や冷凍食品、チルド食品などに広く利用されている。加工でん粉のうちでん粉誘導体 (化工でん粉: chemically-modified starch) は、1940 年代以降、欧米で製紙、繊維など工業製品向けに発展してきたが、近年は耐老化性、耐冷凍性などの特性を生かし、食品産業にも用途が広がっている。日本では FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議によって、輸入食品として利用されてきた化工でん粉の安全性評価が行われ、平成 20 年 10 月 1 日、厚生労働省は食品衛生法施行規則の一部を改正する省令を公布した。その結果 11 品目の化工でん粉 (アセチル化リン酸架橋でん粉、ア

セチル化酸化でん粉、アセチル化アジピン酸架橋でん粉、オクテニルコハク酸でん粉ナトリウム、酢酸でん粉、酸化でん粉、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋でん粉、ヒドロキシプロピルでん粉、リン酸化でん粉、リン酸架橋でん粉、リン酸モノエステル化リン酸架橋でん粉) の製造が日本でも可能となった。

近年、一次機能 (栄養特性) としての炭水化物であるでん粉は、三次機能 (生体調節特性) をもつ食品として注目されている。特に加水分解でん粉であるオリゴ糖および難消化性デキストリン¹⁻³⁾ や難消化性でん粉 (レジスタントスターチ) の研究⁴⁻⁶⁾ が行われてきたが、化工でん粉の栄養生理作用は、まだ十分に解明されていない^{7,8)}。

以前当研究室では、高リン馬鈴薯でん粉がラットの脂質代謝および糖質代謝に及ぼす影響を調べ、中性脂肪上昇抑制効果などの機能性があることを

Eri FUKUDA
Kazuo YAMAMOTO
Michihiro FUKUSHIMA
Naomichi NISHIMURA
Hideyuki CHIJI

藤女子大学人間生活学部食物栄養学科
帯広畜産大学地域共同研究センター
帯広畜産大学食品科学ユニット
名寄市立大学保健福祉学部栄養学科
藤女子大学人間生活学部食物栄養学科 藤女子大学大学院人間生活学研究科食物栄養学専攻

社)で、 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の上昇速度で41分間、 93°C 付近まで攪拌を続け、 93°C に到達後、温度を30分間保持し攪拌を続け、粘度曲線を得た。

2. 実験方法

1) リン酸架橋でん粉の調製

北海道馬鈴薯澱粉工業協会より提供された馬鈴薯でん粉(NPS、原料品種コナフブキ) 500 g に水 191 mL と 1 M 食塩水 376 mL を加え、恒温水槽中で攪拌しながら 40℃まで昇温させた。その間 3 %水酸化ナトリウム溶液を滴下し pH 10.5 に調整した。ついで、でん粉に対して 1,500 ppm になるようにトリメタリン酸ナトリウム 622.6 mg を 100 mL の蒸留水に溶かした溶液を加え、3 時間反応させた。反応中に 3 %水酸化ナトリウム溶液を滴下し pH 10.5 に保った。反応終了後 5 %塩酸溶液を滴下し pH 6.5 に調整した。でん粉のろ過と攪拌洗浄を 5 回繰り返し、でん粉の水分が 17%程度になるまで乾燥させ、リン酸架橋馬鈴薯でん粉(DPS) 約 450 g を得た。なお、トリメタリン酸ナトリウムを加えないで、リン酸架橋馬鈴薯でん粉と同じ操作で調製したでん粉をアルカリ処理でん粉(ATS)とした。

2) 粘度測定

ブラベンダービスコグラフ (BRABENDER)

3) 試料の灰化法とリン含量の定量

各でん粉試料を 60%過塩素酸と硝酸で湿式灰化し、リン・バナド・モリブデン酸法で測定した。

4) 飼料組成、実験動物および飼育方法

スクロースを60%含む基本飼料をcontrolとし、その基本飼料中のスクロースの10%相当量を原料馬鈴薯でん粉(NPS)、アルカリ処理馬鈴薯でん粉(ATS)およびリン酸架橋馬鈴薯でん粉(DPS)と置き換えた飼料の組成をTable 1に示した。なお、AIN93G¹⁰⁾に準じて配合したミネラル混合物、ビタミン混合物を使用した。実験動物は6週齢のSprague Dawley系雄性ラットを三協ラボサービス(株)から購入した。動物飼育室は12時間の明暗周期(明期8:00—20:00)とし、室温23±1℃、湿度55±10%に設定した。ラットは個別のステンレスケージに入れ、毎日体重と飼料摂取量を記録した。給餌および給水は自由摂食とした。

市販の粉末飼料（CE2）で7日間の予備飼育後、各群の体重、中性脂肪濃度、総コレステロール濃度、血糖値の平均値が等しくなるよう組み換えた（5群、n=6）。飼料は60%スクロース（Control）、10%原料馬鈴薯でん粉（NPS）置換飼料、10%アルカリ処理馬鈴薯でん粉（ATS）置換飼料および10%リン酸架橋馬鈴薯でん粉（DPS）置換飼料を与え（Table 1）、28日間飼育した。

Table 1 Composition of the experimental diets.

Ingredients	Control (sucrose)	Native potato starch	Alkali-treated potato starch	Distarch phosphate
	g/kg diet			
Casein	250.0	250.0	250.0	250.0
Mineral mixture ¹⁾	35.0	35.0	35.0	35.0
Vitamin mixture ¹⁾	10.0	10.0	10.0	10.0
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5
Corn oil	50.0	50.0	50.0	50.0
Cellulose	50.0	50.0	50.0	50.0
Sucrose	602.5	502.5	502.5	502.5
Potato starch	—	100.0	—	—
Alkali-treated potato starch	—	—	100.0	—
Distarch phosphate	—	—	—	100.0

1) The mineral mixture and vitamin mixture were prepared according to the AIN-93G¹⁰⁾.

7日毎に尾静脈から採血し、血清総コレステロール濃度、中性脂肪濃度、血糖値を測定した。1週毎に連続した3日間の糞を採取し、重量を測定した。解剖前日から14時間絶食させ、麻酔下で腹部大動脈から採血した後、血清を生化学分析に供した。肝臓、腎臓、腎周囲脂肪組織、副睪丸周囲脂肪組織、盲腸を摘出し重量を測定した。肝臓および盲腸は液体窒素で凍結させ、分析まで -20°C で保存した。

5) 分析方法

肝臓脂質はFolchら¹¹⁾の方法に準じて抽出し、総コレステロールおよび中性脂肪量は、カイノス酵素キットを用いて測定した。

凍結保存していた盲腸から盲腸内容物を取り出し、盲腸壁を蒸留水で洗浄し、ろ紙で水分を除去後、重量を測定した。盲腸内容物に5倍量の蒸留水を加え、ホモジナイザーで30秒間ホモゲナイズした懸濁液のpHを測定した。盲腸内容物の懸濁液1 mLを1.5 mLのマикроチューブに量り取り、 4°C 、15,000 rpm、10分間で遠心分離し、上清を得た。上清450 μL に50 mM水酸化ナトリウム50 μL を加え混和した。その後、クロロホルム500 μL を加え混和后、 4°C 、15,000 rpm、10分間で遠心分離し、上清の有機酸(乳酸、蟻酸、コハク酸、酢酸、プロピオン酸、酪酸、イソ酪酸)をHPLCによって定量分析した。なお、分析は、カラム: Shim-pack SCR-102H (8 mm \times 300 mm、Shimadzu)、反応溶液: 5 mM *p*-toluenesulfonic acid(100 μM EDTA 含有)、20 mM Bis-Tris緩衝液の濃度勾配、流速0.8 ml/minの条件で行い、各有機酸を電気伝導度検出器で検出した。

6) 統計処理

実験データは平均値 \pm 標準誤差(SEM)で示した。得られたデータは一元配置分散分析後、Tukey-Kramer testによって有意水準5%で統計処理を行った。

3. 結果と考察

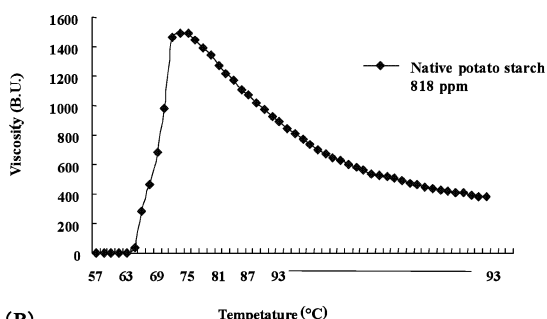
1) リン酸架橋馬鈴薯でん粉のリン含量と粘度特性

リン酸架橋馬鈴薯でん粉のリン含量を分析した結果837 ppmを示し、原料馬鈴薯でん粉のリン含

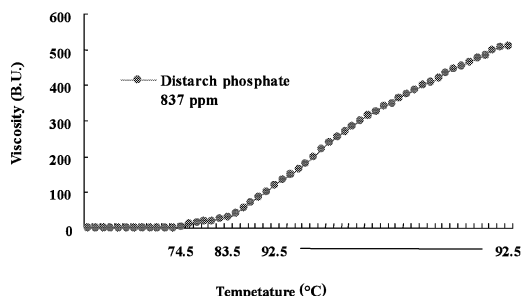
量818 ppmに比べやや高くなった。アルカリ処理馬鈴薯でん粉のリン含量は818 ppmであり、原料馬鈴薯でん粉のリン含量と変わらず、pH 10程度のアルカリ性ではリン酸エステルは脱離していないと推定された。

調製したリン酸架橋馬鈴薯でん粉、アルカリ処理馬鈴薯でん粉および原料馬鈴薯でん粉の粘度をFigure 1に示した。原料馬鈴薯でん粉は糊化開始温度 64°C 、最高粘度1,510 ブラベンダーユニット(BU)を示した。最終粘度は380 BUと、大きく粘度が低下し、馬鈴薯でん粉特有の粘度曲線を示した。リン酸架橋馬鈴薯でん粉は糊化開始温度は

(A)



(B)



(C)

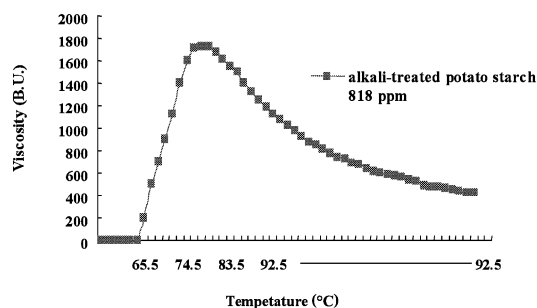


Figure 1 Viscosity of gelatinized native potato starch (A), distarch phosphate (B) and alkali-treated potato starch (C) by brabender.

73℃と、原料馬鈴薯でん粉の64℃より高値を示した。また、原料馬鈴薯でん粉のような急激な粘度上昇は認められず、ゆるやかに上昇を続け、最終粘度は510 BUと、糊化開始から測定終了時まで粘度低下は認められなかった。アルカリ処理馬鈴薯でん粉は糊化開始温度64℃、最高粘度1,720 BUを示し、原料馬鈴薯でん粉と同様に、急激な粘度上昇と大きな粘度低下が見られた。でん粉は、リン含量の高いものほど糊化すると大きく膨潤し、高い最高粘度を示すようになる。しかし、Figure 1に示したアミログラム(粘度曲線)では、このリン酸架橋馬鈴薯でん粉はリン含量が高くなったにもかかわらず、最高粘度のピークを示さなかった。リン酸架橋馬鈴薯でん粉はFigure 2に示したように、でん粉分子の水酸基にトリメタリン酸ナトリウムがエステル結合した後、続いて別のでん粉分子の水酸基とエステル結合することによって架橋構造をとる。この架橋構造により、でん粉粒の膨潤や糊化を抑制し、粘度低下を防止する。アミログラムの結果から、調製したリン酸架橋馬鈴薯でん粉は原料馬鈴薯でん粉とは異なる糊化特性を

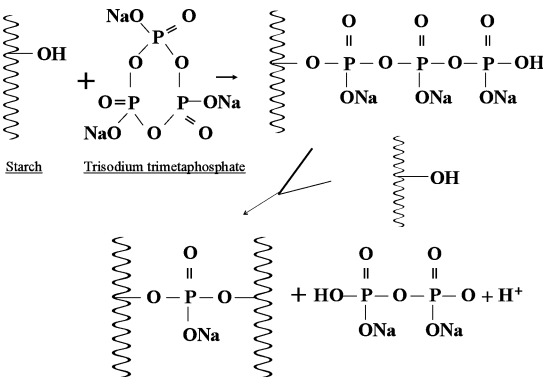


Figure 2 Schematic picture of distarch phosphate.

持つでん粉であることが確かめられた。トリメタリン酸ナトリウムを添加せずアルカリ処理だけを行った馬鈴薯でん粉は、原料馬鈴薯でん粉と同様のアミログラムを示し、pHの調整に使用した水酸化ナトリウム処理では馬鈴薯でん粉の物性を大きく変えることはなかった。

2) でん粉摂取ラットの成長パラメーター、臓器および組織重量

ラットは、基本飼料(control)、10%でん粉(NPS、ATS、DPS)置換飼料で4週間飼育した。ラットの初期体重、最終体重、体重増加量、飼料効率、糞重量はTable 2に示した。糞重量はFigure 3、臓器および組織重量はTable 3に示した。

最終体重および飼料効率は、各でん粉置換飼料群とcontrolで有意な差は認められなかった(Table 2)。未加熱でん粉は、加熱したでん粉に比べ消化酵素の作用を受けづらいとされる。しかしこれらの未加熱でん粉は、controlに比べ最終体重、飼料効率に有意差がなかったことから、ラットの消化管内において消化速度は異なるが消化吸収され、利用されていることが示された。糞重量は、でん粉を置換した群がcontrolに比べ有意に増加した(Figure 3)。この理由として、未消化でん粉のほか、発酵残渣が増したためと考えられる。

DPS、NPS、およびATS置換飼料群の、副腎丸周囲脂肪および腎周囲脂肪重量は、controlに比べ有意に低下した(Table 3)。これら白色脂肪組織は、吸収された糖や肝臓および小腸由来のリポタンパク質を脂肪細胞内に取り込み、中性脂肪として蓄積する。28日間の飼料摂取量は4群間で有意差はないことから、炭水化物源のスクロースのうち10%をでん粉に置き換えたことで、ゆっくりと消化が進み、脂肪組織の蓄積量が低下したと考えられる。

Table 2 Initial and final body weight, body weight gain and food efficiency of rats fed experimental diets containing 10% starches for 4 weeks¹⁾.

Group	Control	Native potato starch	Alkali-treated potato starch	Distarch phosphate
Initial body weight (g)	239.77±3.17	240.23± 2.50	240.25±2.53	239.83±2.45
Final body weight (g)	400.61±4.18	399.07±14.11	389.69±6.18	398.73±7.66
Body weight gain (g/4wk)	160.84±2.33	158.84±12.20	149.44±6.11	158.91±5.57
Food efficiency ²⁾	0.27±0.00	0.26± 0.01	0.25±0.01	0.28±0.00

1) Values are means ± SEM for 6 rats.

2) Food efficiency = Body weight (g)/Food intake (g)

Table 3 Organs weights in rats fed experimental diets containing 10% starches for 4 weeks¹⁾.

Group	Control	Native potato starch	Alkali-treated potato starch	Distarch phosphate
g wet tissue/100g rat				
Liver	3.20±0.10	3.25±0.06	3.32±0.04	3.40±0.06
Epididimal fat pad	2.68±0.11 ^a	1.81±0.11 ^b	2.15±0.14 ^b	1.87±0.16 ^b
Perirenal fat pad	2.97±0.09 ^a	2.31±0.07 ^{bc}	2.70±0.11 ^{ab}	1.98±0.15 ^c
Kidney	0.61±0.02	0.63±0.01	0.65±0.01	0.66±0.02

1) Values are means ± SEM for 6 rats.

Mean values within a row with unlike superscript letters were significantly different ($P < 0.05$) as determined by Tukey-Kramer test.

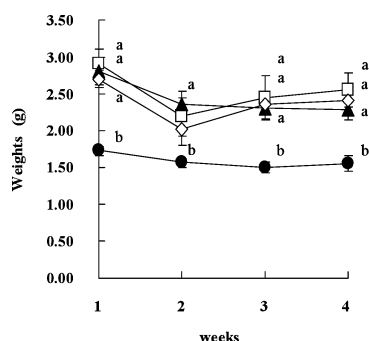


Figure 3 Fecal weight changes in rats fed control diet (●), Native potato starch diet (□), Alkali-treated potato starch diet (▲), Distarch phosphate diet (◇) for 4 weeks.

3) 血清パラメーター

腹部大動脈の各血清パラメーターを Table 4 に示した。DPS および NPS 置換飼料群の腹部大動脈血中の中性脂肪濃度は、control と比較して有意に低下した。また、DPS 置換飼料群の血中遊離脂肪酸濃度が 4 群間で最も低値を示し、control と比較し 20% 低下した。HDL コレステロールと LDL+IDL+LDL コレステロールの比から求めた動脈硬化指数は、各群間で有意な差は認められなかった。今回の実験結果は、高リン馬鈴薯でん粉を摂取したラットの血清中性脂肪濃度が低下した以前の我々の報告と一致する⁹⁾。しかし、高リン馬鈴薯でん粉で見られた血清コレステロール低下傾向は、認められなかった。

Table 4 Lipid and glucose concentrations in serum from rats fed experimental diets containing 10% starches for 4 weeks¹⁾.

Group	Control	Native potato starch	Alkali-treated potato starch	Distarch phosphate
(mM)				
Triacylglycerol	1.90±0.22 ^a	1.11±0.12 ^b	1.44±0.14 ^{ab}	1.00±0.14 ^b
Total-cholesterol	2.10±0.13	2.15±0.11	2.34±0.19	2.10±0.22
VLDL+IDL+LDL-cholesterol ²⁾	1.55±0.11	1.60±0.08	1.79±0.16	1.57±0.19
HDL-cholesterol	0.55±0.02	0.55±0.03	0.56±0.03	0.53±0.03
Glucose	11.64±0.33	10.85±0.25	11.50±0.32	10.97±0.40
Arteriosclerosis Index ³⁾	2.81±0.12	2.94±0.07	3.19±0.18	2.92±0.24
Phospholipids (mg/dL)	141.33±6.51	129.83±6.13	140.33±7.16	127.17±9.19
Non esterified fatty acid (mEq/L)	0.53±0.05	0.47±0.04	0.49±0.05	0.42±0.06

1) Values are means ± SEM for 6 rats.

2) VLDL+IDL+LDL cholesterol=Total cholesterol-HDL cholesterol

3) (Total cholesterol-HDL-cholesterol)/HDL-cholesterol

Mean values within a row with unlike superscript letters were significantly different ($P < 0.05$) as determined by Tukey-Kramer test.

4) 盲腸内容物の pH および有機酸量

盲腸および盲腸内容物重量、内容物の pH を Table 5 に示した。盲腸内容物の総有機酸量を Table 6 に示した。

でん粉置換飼料群の盲腸重量、盲腸内容物重量および盲腸壁重量は、control と比べ有意に増加した (Table 5)。この結果は、未加熱レジスタントスターチ摂取で盲腸重量が増加した Lopes らの報告¹²⁾ と一致する。同時に彼らは、経時的に盲腸壁重量が盲腸重量と対応して増加することを報告しているが、これは、飼料摂取による盲腸粘膜の組織学的変化に伴うものと述べている。

盲腸内容物中の有機酸量は、酪酸が control と比べ、でん粉置換飼料群で低下する傾向が示された。この結果は、Blay らの生のじゃがいもでん粉を 11.77% 添加した飼料を 3 ヶ月間長期摂取させたラットの酪酸産生が経日的に増加する、とした報告と一致しない⁴⁾。また、化工でん粉の腸内常在菌による資化性について Ebihara らは、豚パンク

レアチンで加水分解して調製した未加熱化工でん粉の難消化性部分は、ヒト腸内常在菌に資化されることを報告している¹³⁾。酪酸が増えなかった理由として、飼料の摂取期間が短いことや通過時間、微生物の代謝活性などの要因が考えられる。その一方、でん粉摂取群の総有機酸量は増加傾向を示し、酪酸は増加しなかったが、10% でん粉置換レベルでも盲腸内発酵はわずかながら起きている可能性が示唆された (Table 5、6)。

5) 肝臓中総コレステロールおよび中性脂肪量

肝臓中の総コレステロールおよび中性脂肪量は Figure 4 に示した。

NPS 置換飼料群の中性脂肪量が、control に比べ有意に低下した。ATS および DPS 置換飼料群は、control と比べ有意差は認められなかったが、それぞれ約 50% と 47% 低下した。総コレステロール量は 4 群間で差は認められなかった。

Deckere らは、レジスタントスターチ (RS) 摂

Table 5 Weight of cecum and cecal wall and pH of cecal contents in rats fed experimental diets containing 10% starches for 4 weeks¹⁾.

Group	Control	Native potato starch	Alkali-treated potato starch	Distarch phosphate
g wet tissue/100g rat				
Cecum	0.67 ± 0.04 ^a	1.96 ± 0.27 ^b	1.63 ± 0.13 ^b	2.25 ± 0.22 ^b
Cecal wall	0.24 ± 0.01 ^a	0.40 ± 0.02 ^{bc}	0.34 ± 0.01 ^b	0.43 ± 0.02 ^c
Cecal contents	0.43 ± 0.03 ^a	1.56 ± 0.25 ^b	1.29 ± 0.12 ^b	1.83 ± 0.21 ^b
pH of cecal contents	7.56 ± 0.06	7.73 ± 0.17	7.65 ± 0.15	7.71 ± 0.13

1) Values are means ± SEM for 6 rats.

Mean values within a row with unlike superscript letters were significantly different ($P < 0.05$) as determined by Tukey-Kramer test.

Table 6 Total amount of organic acids in cecal contents in rats fed the experimental diets containing 10% starches for 4 weeks¹⁾.

Group	Control	Native potato starch	Alkali-treated potato starch	Distarch phosphate
μ mol/g cecal content				
Acetate	29.33 ± 1.99	30.49 ± 6.19	33.57 ± 3.00	26.79 ± 3.01
Propionate	11.37 ± 9.84	9.84 ± 1.67	7.37 ± 0.47	13.09 ± 3.17
Butyrate	6.14 ± 0.80	3.58 ± 1.91	1.77 ± 0.36	2.64 ± 1.20
Iso-Butyrate	25.08 ± 3.64	28.01 ± 8.07	25.36 ± 5.81	27.53 ± 5.91
Formate	2.42 ± 0.54	13.81 ± 11.88	12.42 ± 7.87	15.58 ± 8.33
Lactate	2.91 ± 0.30	1.73 ± 0.51	2.86 ± 1.20	1.29 ± 0.69
Succinate	0.42 ± 0.06	0.31 ± 0.08	0.87 ± 0.34	0.78 ± 0.38
Total organic acids	77.66 ± 4.61	87.77 ± 8.27	84.21 ± 7.35	87.70 ± 6.27

1) Values are means ± SEM for 6 rats.

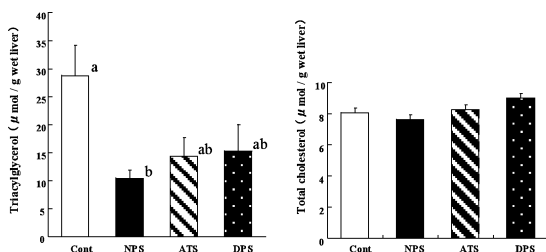


Figure 4 Hepatic triacylglycerol and total cholesterol concentrations in rats fed experimental diets containing 10% starches for 4 weeks.

Values are means \pm SEM for 6 rats.

Different superscript letters on the columns indicate

significant differences ($P < 0.05$) as determined by Tukey-Kramer test.

取がラットにおいて血清コレステロールおよび中性脂肪濃度や脂肪組織量を低下させることを明らかにし¹⁴⁾、Lopes らは、RS2 の血清および肝臓中のコレステロールおよび中性脂肪濃度低下作用を報告している¹²⁾。食物繊維や RS 摂取による肝臓コレステロール低下作用のメカニズムは¹⁵⁾盲腸内発酵によって生成した短鎖脂肪酸（酢酸、酪酸、プロピオン酸）がその一因とされている。コレステロールに関して、本実験結果と Deckere や Lopes らの報告が相違する理由として、でん粉の配合量が異なるなどの実験条件が同一でないためと考えられ、馬鈴薯でん粉の置換 10% レベル程度では、盲腸内発酵はわずかに起こっているものの、肝臓コレステロールの低下作用には影響していないと考えられた。

以上の結果から、DPS および NPS 置換飼料群で、血清中性脂肪濃度および腹腔内脂肪組織重量の低下効果が認められた。一方、DPS 置換飼料摂取によるコレステロール低下作用は認められなかった。本研究では、でん粉摂取群の肝臓および血清中性脂肪量や脂肪組織量低下作用が認められたが、その中でも DPS 置換飼料群の効果が最も大きいことが明らかとなった。そのメカニズムは、リン含量の高低や、化工でん粉が原料でん粉よりも消化率が低いとする報告¹⁶⁾と合わせると、DPS がゆっくりと消化され、グルコースの吸収が遅延することにより血糖上昇反応が遅くなり、インスリンの上昇反応が少なくなるためと考えられる。その機構を明らかにするには、リン酸架橋でん粉

の *in vitro* および *in vivo* での消化度や、でん粉摂取時の血糖値の変化など多方面からの検討が今後必要である。

4. 要約

リン酸架橋馬鈴薯でん粉摂取によるラットの脂質代謝への効果を調べた。

- 1) DPS、NPS、ATS のリン含量はそれぞれ 837 ppm、818 ppm、818 ppm であった。
- 2) NPS を架橋処理することにより糊化特性が変化し、DPS に加工されたことをアミログラフ（粘度計）により確認した。
- 3) DPS 置換飼料群の腹腔内脂肪組織重量は control と比べ有意に減少した。血清中の中性脂肪濃度は DPS および NPS 置換飼料群が control と比較して有意に低下し、肝臓中の中性脂肪量は DPS と ATS 置換飼料群が control と比べ各々 47、50% 低下した。

本研究は、平成 22 年度ノーステック財団「研究開発助成事業」の補助金を受けて行った。

謝辞

本研究を行うにあたり、馬鈴薯でん粉を恵与していただいた北海道馬鈴薯澱粉工業協会に心よりお礼を申し上げます。

参考・引用文献

- 1) 里内美津子, 若林茂, 大隈一裕, 藤原啓子, 松岡瑛 (1993) 難消化性デキストリンのヒト便通に及ぼす影響 *Jpn. J. Nutr.* 51(1) 31-37
- 2) 若林茂, 植田由香, 松岡瑛 (1993) 各種糖質負荷後のラットの血糖値ならびにインスリン分泌に及ぼす難消化性デキストリンの影響 *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci* 46, 131-137
- 3) 若林茂, 里内美津子, 野上義喜, 大隈一裕, 松岡瑛 (1991) ラットのコレステロール代謝に及ぼす難消化性デキストリンの影響 *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci* 44, 471-478
- 4) Gwenaëlle Le Blay, Catherine Michel, Herve M. Blottiere and Christine Cherbut (1999) Enhancement of butyrate production in the rat caecocolonic tract by long-term ingestion of resistant potato starch. *Br J Nutr* 82: 419-426
- 5) David J. A. Jenkins, FACN, Vladimir Vuk-

- san, Cyril W. C. Kendall, Pierre Wursch, Roger Jeffcoat, Susan Waring, Christine C. Mehling, Edward Vidgen, Livia S. A. Augustin, and Evelyn Wong, (1998) Physiological Effects of Resistant Starches on Fecal Bulk, Short Chain Fatty Acids, Blood Lipids and Glycemic Index. *Journal of the American College of Nutrition* 17(6) 609-616
- 6) Miquel Nofrarias, Daniel Martinez-Puig, Joan Pujols, Natalia Majo, Jose F. Perez, (2007) Long-term intake of resistant starch improves colonic mucosal integrity and reduces gut apoptosis and blood immune cells. *Nutr* 23: 861-870
 - 7) Kiyoshi Ebihara, Rumiko Shiraisi, Kazuhiro Okuma (1998) Hydroxypropyl-Modified Potato Starch Increases Fecal Bile Acid Excretion in Rats. *J. Nutr.* 128: 848-854
 - 8) Julie M Clarke, Anthony R Bird, David L Topping, Lynne Cobiack (2007) Excretion of starch and esterified short-chain fatty acids by ileostomy subjects after the ingestion of acylated starches. *Am J Clin Nutr* 86: 1146-1151
 - 9) Takumi Kanazawa, Mariko Atsumi, Hitoshi Mineo, Michihiro Fukushima, Naomichi Nishimura, Takahiro Noda and Hideyuki Chiji (2008) Ingestion of Gelatinized Potato Starch Containing a High Level of Phosphorus Decreases Serum and Liver Lipids in Rats *J. Oleo Sci.* 57(6) 335-343
 - 10) Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC Jr. (1993) AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr.* 123: 1939-51
 - 11) Folch J, Lees M, and Sloane-Stanley, G. H (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.* 226: 497-506
 - 12) Hubert W. Lopes, Marie-Anne Levrat -Verny, Charls Coudray, Catherine Besson, Virginie Krespine, Arnaud Messenger, Christian Demigne, Christian Remesy (2001) Class 2 Resistant Starches Lower Plasma and Liver Lipids and Improve Mineral Retention in Rats. *J. Nutr.* 131: 1283-1289
 - 13) 海老原清(1992)化工デンプンのパンクレアチン不消化部分に対する腸内常在細菌による資化性について 日本栄養・食糧学会誌 45(6) 554-559
 - 14) Emile A. M. Deckere, Willem J. Kloots, Johan M. M. Amelsvoort (1993) Resistant starch decreases serum total cholesterol and triacylglycerol concentration in rats. *J. Nutr.* 123: 2142-2151
 - 15) Chen, W.-J. L., Anderson, J. W., Jennings, D (1984) Propionate may mediate the hypocholesterolemia effects of chain soluble plant fibers in cholesterol fed rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 175: 215-218
 - 16) Jung-Ah Han, James N. BeMiller (2006) Preparation and physical characteristics of slowly digesting modified food starches. *Carbohydrate Polymers* 67 366-374